Vol. 10, Spring 2000

NEWSLETTER FOR THE

Canadian Antarctic Research Network

INSIDE

Reckoning Lake Vostok	1
Skating on Thick Ice: An MP in Antarctica	3
Letter from the Chair of CCAR	4
Antarctic Ice Mass Change and Crustal Motion	5
Canadian Arctic-Antarctic Exchange Program	6
Some Recent Canadian Contributions to Antarctic and Bipolar Science	7
News in Brief	8
Studying Antarctic Diatoms	9
Letter from the CPC	10
Information Update	11

Reckoning Lake Vostok

Eddy Carmack[1] and John Wüest[2]

Much like a fictional "Lost World" of childhood movies, Lake Vostok has until recently escaped man's detection. Located in East Antarctica (Fig. 1), the 10- to 20-million-year-old freshwater body is covered by a 3.7- to 4.2-km-thick layer of glacial ice. Lake Vostok is big: it has an area (~14,000 km^2) near that of Lake Ladoga, a volume (~1,800 km^3) near that of Lake Ontario, and a maximum depth (> 500 m) near that of Lake Tahoe. While the lake has yet to be penetrated, remote survey methods suggest that it is filled with fresh water and that its floor is covered with thick sediments (Kapitsa et al., 1996). New analyses of Vostok ice core data reveal that microbes that have been isolated for millions of years still live in its waters and sediments (Vincent, 1999; Priscu et al., 1999; Karl et al., 1999). This combination of thick ice cover and the extreme isolation of its microbes makes Vostok an excellent analog for planetary exploration (F. Carsey, pers. comm.). However, these extreme conditions call for the use of *in situ* micro-robotics specially designed to address an anticipated range of physical and geochemical conditions within the lake. To spur discussion on water circulation to be expected within Vostok, we applied thermodynamic and hydrodynamic principles to ask: "How fast is the water moving?" (see Wüest and Carmack, 2000).

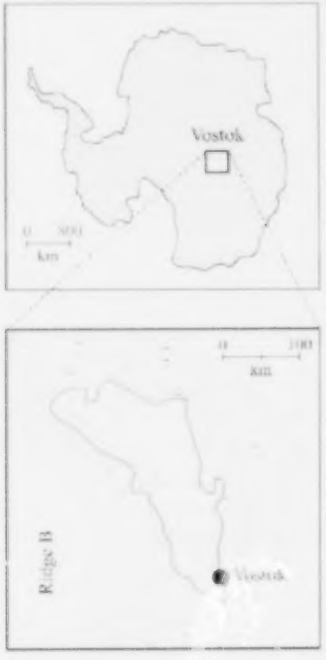


Figure 1: Location and map of Lake Vostok, adapted from Kapitsa et al., 1996.

Density-driven flows are likely to dominate water motion within Lake Vostok; and thus thought must be given to (1) the joint effects of high pressure on both the density and the freezing point of fresh water; and (2) the role of geothermal heating (perhaps 50 mWm-2). The depression of temperature of maximum density with pressure is TMD - 4°C - 0.021p, where p is pressure in bars, while the depression of the freezing temperature with pressure is TFP - 0°C - 0.00759p (Chen and Millero, 1986; Fujino et al., 1975). These two lines cross at a critical pressure (pcrit) near 305 bars, which corresponds to an overlying ice thickness of about 3350 m (Fig. 2). Above pcrit TMD > TFP, and the system is stable when temperature increases with depth; that is, it behaves as a lake (think of a normal ice-covered lake in which the warmest water is found at the bottom). Below pcrit TMD < TFP, and the system is stable when temperature decreases with depth; that is, it behaves like an ocean, such that water would rise when heated from below.

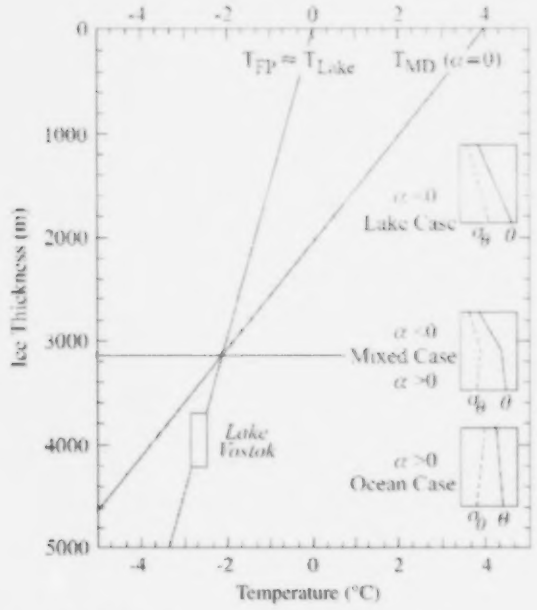


Figure 2 : Plot of the freezing temperature (TFP) and the temperature of maximum density (TMD) as a function of ice thickness. Three types of lakes under ice can be expected in Antarctica, depending on whether the ice thickness is larger, less, or about equal the critical depth (~3170 m depth for rIce ~913 kg m-3), where TFP and TMD are equal. In Lake Vostok TFP (~ - 2.7°C) is warmer than TMD (~ -4°C) so the thermal expansion coefficient α is positive ("Ocean case"); subsequently, potential density $\sigma\theta$ increases when the potential temperature decreases with depth

Lake Vostok falls in the "ocean" category. Other Antarctic subglacial lakes (for example the one at South Pole) fall into the "lake" category. To make things (even) more complicated, the ice-water (ceiling) and water-sediment (floor) interfaces of the lake are sloped.

Using scaling arguments for fluid motion, we predict two types of internal motions: (a) vertical convective plumes with velocity scales of ~0.3 mm s-1 and (b) horizontal convections of about the same magnitude. Vertical convection is due to the geothermal heat flux, while horizontal circulation is tied to latent heat fluxes (melting and freezing) along the tilted ice ceiling. Vertical mixing is very fast, a time scale of days. Melting and re-freezing associated with the horizontal flow is predicted to flatten the ice cover to a remarkably smooth terrain as the glacier moves over the lake on a time scale of ~20,000 years. We also note that field experiments could be carried out to see if flow can be detected in similar (but less extreme) high pressure and low temperature situations (e.g. beneath the Ward Hunt Ice Shelf in the Canadian High Arctic; Jeffries, 1992).

Eddy Carmack is a research scientist with the Institute of Ocean Sciences, DFO, in Sidney, B.C. John Wüest is a specialist in aquatic ecology with the Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology.

Footnotes:

Institute of Ocean Sciences, 9860 West Saanich Road, Sidney, BC V8L 4B2, Canada
E-mail: Carmackj@pac.dfo-mpo.gc.ca

EAWAG and ETH, CH-8600 Dübendorf, Switzerland

References

Chen, C.T., and F.J. Millero 1986: Precise thermodynamic properties for natural waters covering only the limnological range, Limnol. Oceanogr., 31, 657-662.

Fujino, K., E.L. Lewis, and R.G. Perkin, 1974: The Freezing point of sea water at pressure up to 100 bars, J. Geophys. Res., 79, 1792-1797.

Jeffries, M.O., 1992: Arctic ice shelves and ice islands: Origin, growth and disintegration, physical characteristics, structural-stratigraphic variability, and dynamics, Rev. Geophys., 30, 245-267.

Kapitsa, A.P., J.K. Ridley, G. de Q. Robin, M.J. Siegert and I.A. Zotikov, 1996: A large deep freshwater lake beneath the ice of central East Antarctica, Nature, 381, 684-686.

Karl, D.M., and five others, Microorganisms in the accreted ice of Lake Vostok, Antarctica, Science, 286, 2144-2147, 1999.

Priscu, J.C., and eleven others 1999: Geomicrobiology of subglacial ice above Lake Vostok, Antarctica, Science, 286, 2141-2143.

Vincent, W.F.1999 Antarctic Biogeochemistry: Icy life on a hidden lake, Science, 286, 2094-95.

Wüest, A. and E.C. Carmack, A priori estimates of mixing and circulation in the hard-to-reach body of Lake Vostok, Ocean Modelling, submitted, 2000.

Skating on Thick Ice: An MP in Antarctica

Peter Adams

In January 1999, the Hon. David Anderson, then federal Minister of Fisheries and Oceans, now Minister of Environment, attended the "Ministerial on Ice" at New Zealand's Scott Base in the Ross Sea region of Antarctica. He represented Canada at a meeting of ministers and officials from 23 countries.

In January 2000, at the invitation of Antarctica New Zealand, I visited the same region in the company of the Chief of the NZ Defence Force, the Chair of the Foundation of Research, Science and Technology, NZ, the Deputy Secretary, Foreign Affairs and Trade, NZ, and representatives of Antarctica New Zealand. My purpose was to further explore Canada's involvement in Antarctica, with particular reference to co-operation with New Zealand. I was thoroughly briefed before leaving for Antarctica, and I particularly thank Prof. Warwick Vincent (CCAR) and Dr. Clive Howard-Williams (New Zealand) for facilitating the visit.

I met Canadians wherever I went. For example, Valerie Villeneuve, of Université Laval, was doing research from Bratina Island on the McMurdo Ice Shelf, Yannick Huot of Dalhousie, was taking a course at the Crary Lab, McMurdo, Phil Holme, a graduate student at Victoria University of Wellington, was doing geological fieldwork, and Ian Hogg, now on the faculty at Waikato, was studying freshwater invertebrates. In addition, I met Twin Otter pilots of First Air, Yellowknife, on their way home after completing a contract. Various non-Canadian researchers spoke to me about Canadian colleagues who had been there or who were due to arrive.

This sample, from a short visit to one sector of Antarctica, suggests that the scale of Canadian activity on the continent is very considerable.

Yet, as readers of this newsletter well know, Canada is not a full participant in the Antarctic Treaty system. We participate in a variety of Treaty activities but as a second class-member. To be a full member, among other things, we need to support an expedition or base, or engage in some equivalent activity in Antarctica.

Canada's limited involvement in Antarctica has become an item of international gossip. We are said to be the only country that makes a profit there. The reason for this is that our pilots, aircraft, and engineers are in great demand in and around the continent because of their cold environment capabilities. Our snowmobiles, parkas, *mukluks*, boots, huts, tents, and remote sensing technology are prominent down here. The two largest Antarctic tourism companies are based in Canada. So, business is good for us in Antarctica.

At the same time, our researchers and students, who are spread throughout the continent, like those whom I met, all piggyback with other nations. They are attractive to their hosts because they tend to bring cold weather as well as scientific expertise. This is a cheap way to do research in that remote region.

I think that it is admirable that our people can work so effectively with all 27 Antarctic Treaty nations. We should continue to do so. I suspect that our contribution to science in Antarctica, even taking into account the piggybacking, is likely already as substantial as that of several minor Antarctic Treaty nations. However, I also believe that the time has come for us to move to full status in the Treaty. We have a moral duty to do so, and it makes good sense as a means of strengthening science in Canada. In my report, I make the case that we can achieve full Treaty status by taking a few simple steps, including more formal co-operation with New Zealand. Copies of the report are available on request. My main recommendations are as follows:

- that the existing Canadian Arctic/Antarctic Exchange Program be strengthened;
- that Canada establish a formal agreement for co-operation in polar matters with New Zealand;
- that Canada ratify the Protocol on Environmental Protection to the Antarctic Treaty, passing the appropriate domestic legislation; and
- that Canada become a Consultative Member of the Antarctic Treaty.

Peter Adams is MP for Peterborough (Adamsp@parl.gc.ca), and a former research scientist with Trent University.

Letter from the Chair of CCAR

Warwick Vincent

This year marks the beginning of the second term of office for the Canadian Committee for Antarctic Research (CCAR), Canada's national Antarctic committee under the auspices of the Scientific Committee for Antarctic Research (SCAR). It's time, therefore, to take stock of CCAR's accomplishments over the first two-year term, and to set priorities for the immediate future.

CCAR was established concurrently with Canada's successful application for full membership, in SCAR. Much of our work has therefore revolved around the formal requirements for membership, such as appointing and liaising with Canadian representatives to SCAR working groups and responding to various requests for information and reporting. CCAR also inherited responsibilities for the Canadian Arctic–Antarctic Exchange Program, which it co-administers with the Polar Continental Shelf Project (PCSP). In CCAR's second year of operation a new Board was appointed to the Canadian Polar Commission (CPC). CCAR devoted considerable efforts to briefing the new CPC members about the significance of Antarctic and bipolar research for Canada. Over the first two-year period we have been operating under interim Terms of Reference, and these have now been finalized in consultation with CPC.

CCAR has been active on various fronts in raising general awareness of Antarctic issues. Most of the CCAR members and advisers have been involved in interviews with the media on a myriad of Antarctic and bipolar subjects, ranging from global climate change to RADARSAT to life at the bottom of the Ross Sea. The production of this newsletter remains an important part of our awareness and education mandate, but we have also been involved in other related activities. For example, CCAR has facilitated the visit of senior Canadian officials to the Ross Sea sector of Antarctica via the New Zealand Antarctic Programme. Minister David Anderson and John Davis (Assistant Deputy Minister, Fisheries and Oceans Canada) took up the invitation in 1999, and Dr. Peter Adams, MP, was similarly hosted by Antarctica New Zealand in January 2000 (see his article in this issue).

CCAR's most important contribution to date has been to initiate a strategic plan for Canadian Antarctic and bipolar science. Our discussion document was released in 1999 and prompted excellent feedback from many quarters, including government departments, politicians, university personnel, and private enterprise. CCAR organized a workshop on this subject in Calgary in October 1999, and a bilingual report of the proceedings has been published by the Canadian Polar Commission. This report lists more than 75 scientific publications since mid-1997 with a Canadian bipolar or Antarctic component — a timely reminder that we have a significant base of polar expertise in Canada on which to build.

Our next step is to incorporate suggestions and to begin to implement the plan and workshop recommendations. An idea that was enthusiastically endorsed at the workshop was to set up a Canadian foundation for Antarctic and bipolar research that would seek private as well as public sponsorship for supplemental support (e.g., for travel) to Canadian scientists, including students, wanting to conduct research in Antarctica or to undertake bipolar studies. This organization would be separate from CCAR and CPC, and planning for such a foundation is now well underway. A Foundation Steering Committee has been established, with members Olav Loken (CCAR), Wayne Pollard (McGill University), Pat Shaw (Marine Expeditions), and myself (Université Laval).

Another important news item for Canada's high-latitude science community is that CCAR is joining forces with an Ontario-based company in an exciting new Antarctic/bipolar educational venture called "Students on Ice" (see "News in Brief" for more details). You'll be hearing much more about this, the Foundation, and other new CCAR activities over the course of the year ahead.

Warwick F. Vincent is Chair of the Canadian Committee for Antarctic Research.

Antarctic Ice Mass Change and Crustal Motion

Thomas James

During the last ice age the weight of the Laurentide ice sheet depressed the Earth's crust in northern Canada, and, with the disappearance of the ice, the crust rebounded. This is not an instantaneous process, but extends over thousands of years. For example, the port of Churchill on Hudson Bay is still rising at a rate of approximately 1 cm/year. Studies of ice marginal features and raised beaches dated by radiocarbon methods have made it possible to develop a comprehensive picture of the rebound patterns. I use estimates of ice sheet advance and retreat as input to computer models, or simulations, of how the Earth's crust responds to a changing surface load to explain the observed rebound patterns.

Antarctica presents some special difficulties in trying to determine its past mass balance because it is still largely ice covered, and there are relatively few ice marginal features and raised beaches to establish ice sheet history and uplift patterns. Other methods must be found, and I have focused on developing models of ice sheet history and crustal movements based on similar work in Canada, and incorporating our current state of knowledge about the history of the Antarctic ice sheet. Figure 1 shows uplift rates from Antarctica predicted by a particular model of Antarctic ice mass change. The largest rates, nearing 15 mm/year, are expected at the base of the Antarctic Peninsula. A broad region extending from the Transantarctic Mountains (TAM) across the Ross Ice Shelf to Marie Byrd Land features smaller, but still significant, uplift rates. Other plausible histories produce different uplift patterns.

Modern satellite technology has made it possible to verify parts of the model by measuring the current rate of crustal movement. The method depends on making precise observations of vertical and horizontal crustal motion using Global Positioning System (GPS) technology. This research was initially assisted in the early 1990s by a Global Change Program grant from the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), and has proceeded in close collaboration with Erik Ivins of NASA's Jet Propulsion Laboratory (JPL). There is now a fairly even distribution of some 20 permanent GPS sites along the coast, operated by various nations. The longest-established of these sites (e.g., McMurdo Station) have already been operating for several years and have measured vertical displacement rates with a precision better than 1 mm/yr.

GPS installation at Mt. Coates, located in the Dry Valleys. Photograph Courtesy C. Raymond, JPL/NASA.

In the interior of West Antarctica, however, where the highest rates are predicted and the largest differences are seen between

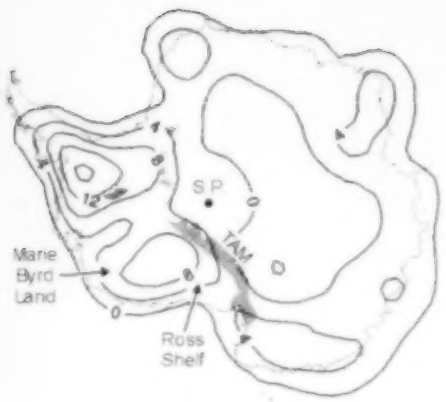


Figure 1. Predicted present-day uplift rates, in millimeters per year, for the D91 deglaciation model (James and Ivins, 1998).

different histories of Antarctic ice mass change, there are as yet almost no observations. But good progress has been made in developing semi-autonomous GPS stations for deployment at unattended sites (see photo). A team from JPL led by Carol Raymond has established two stations near McMurdo that have operated for several years and collected 40 to 100 days of observations per year during the Antarctic summer and fall (http://geodynamics.jpl.nasa.gov/antarctica/tam.html). The data quality is similar to that from continuous sites, but as the observations are only seasonal it will take longer to get comparable precision in uplift rates. Eventually it is hoped to have stations along the length of the TAM operating throughout most of the year. Other groups, using this or similar instrumentation, have established a limited number of sites at different locations.

GPS is not the only technique that gives information on present-day crustal deformation. Repeated gravity observations, either ground-based or satellite-derived, are sensitive both to present-day ice mass change and the internal mass redistribution causing crustal uplift. Owing to the differing sensitivities of different techniques to ice mass change and crustal response, it is important to integrate observations from as many techniques as possible. In this way we obtain a more detailed picture of the past history of the Antarctic ice sheet and make better predictions about its future behaviour and potential impact on global sea level changes.

In 1998, the Scientific Committee on Antarctic Research (SCAR) established a Group of Specialists on Antarctic Neotectonics (ANTEC) to guide future studies of the Antarctic neotectonics regime, including seismicity, volcanism, crustal deformation arising from plate boundary processes, and postglacial rebound. The group met during the European Geophysical Society conference in late April 2000, to review the current status of neotectonic research in Antarctica and to start developing a science plan identifying key research priorities.

These studies are in their infancy, but hold real promise for untangling the details of Antarctic ice-sheet mass balance. This is important for understanding the role of ice sheets in the climate system, and to put some limits on ice sheet changes and how these have affected sea level changes during the last few thousand years. Improved knowledge of the past will also help us predict future changes.

References

James, T. S., and E. R. Ivins, Predictions of Antarctic crustal motions driven by present-day ice sheet evolution and by isostatic memory of the Last Glacial Maximum, J. Geophys. Res., 103, 4993-5017, 1998.

Web site: http://www.pgc.nrcan.gc.ca/geodyn/ant_ice.htm

Tom James is a research scientist with the Geological Survey of Canada, Natural Resources Canada. E-mail: tjames@nrcan.gc.ca

Canadian Arctic–Antarctic Exchange Program

Bonnie Hrycyk

In the short time that the Canadian Arctic–Antarctic Exchange Program has been in operation, the benefits to participating Canadian research scientists have been notable.

Proposals to the program, which is designed to encourage exchanges between Arctic and Antarctic researchers, are reviewed by the Canadian Committee on Antarctic Research and Polar Continental Shelf Project's Science Screening Committee. PCSP delivers logistics support to projects involving Antarctic collaborators working with their Canadian colleagues in the Arctic each year.

Through the program, scientists from a number of Canadian universities — McGill, Laval, Saskatchewan, Ottawa,

Toronto — and government researchers have invited Antarctic colleagues from the U.S., U.K., Japan, Italy, and New Zealand to work in the Arctic with them; in turn, the Canadian research scientists and students have been hosted by their colleagues in Antarctica.

In 1998, Dr. Don McEwen (University of Saskatchewan) noted that his collaborations with Antarctic scientists enhanced the value of his Arctic research activities through interaction with key scientists in the Antarctic atmospheric program and allowed him full access to complementary Antarctic data, leading to joint publications.

Dr. Warwick Vincent (Laval) has noted that these exchanges provide benefits beyond simply allowing Canadian researchers and their students access to Antarctica. For example, he pointed out that the involvement of a scientist, Dr. Clive Howard-Williams, from the New Zealand Antarctic Program, was extremely valuable in the knowledge he contributed to students and other researchers involved in a recent Laval Arctic field program.

Dr. Wayne Pollard (McGill), who has invited U.S. colleagues to work with him in the Arctic and, with graduate students, subsequently worked at the U.S. McMurdo Dry Valleys Long-term Ecological Research site, indicated that he has gained a better understanding of systems operating in the Arctic through his work in the south polar region. In addition, he notes, the exchange has allowed him to establish a series of professional associations that will be beneficial over the long term. "There are benefits on many levels: as a teacher, a researcher, and member of the Canadian northern science community."

Dr. Hugh French, (Ottawa) who has worked with Italian colleagues on bipolar comparisons of high-latitute permafrost conditions, expects other faculty at his university to become involved in scientific exchanges in future. The collaborations supported through the exchange program, he notes, "...demonstrate a Canadian commitment to SCAR."

Bonni Hrycyk is Director of the Polar Continental Shelf Project.
E-mail: bhrycyk@nrcan.gc.ca

Some Recent Canadian Contributions to Antarctic and Bipolar Science

(Names of Canadian co-authors are underlined, except where all are Canadians)

De Mora, S., S. Demers and M. Vernet , 2000: *The Effects of UV Radiation in the Marine Environment*. Cambridge University Press. 320 p.

Joughin, I., L. Gray, R Bindschadler, S. Price, D. Morse, C. Hulbe, K. Mattar and C. Werner. 1999: "Tributaries of West Antarctic Ice Streams Revealed by RADARSAT Interferometry." *Science* 286: 283-286.

Karl, D.M., D.F. Bird, K. Björkman, T. Houlihan, R. Shackelford, and L. Tupas. 1999: "Micro-organisms in the accreted ice of Lake Vostok, Antarctica." *Science* 286: 2144-2147

Vincent, W.F. 2000: "Cyanobacterial dominance in the polar regions." In: Whitton, B. and M. Potts: *Ecology of the Cyanobacteria: Their Diversity in Space and Time*. Kluwers Academic Press, The Netherlands, p. 321-340.

Vincent, W. and C. Howard-Williams, 2000: "Life on Snowball Earth." *Science* 287: 2421.

NEWS IN BRIEF

Antarctic Treaty Consultative Meeting (ATCM) – XXIV ATCM was to be held in Poland in 2000, but last June, Poland announced that for economic reasons this would not be feasible. Recently, the Netherlands offered to host a Special Consultative Meeting in the Hague, September 11-15, 2000 to consider the report of the Committee on Environmental Protection which will meet at that time. There will also be informal discussions of other issues.

"Students on Ice" Expedition, December 27, 2000 to January 8, 2001, to Antarctica is an historic opportunity for 100 high school students from across Canada to explore and experience the mysteries and wonders of Antarctica. The Canadian Committee for Antarctic Research is assisting in the development of the expedition's educational program. Other partners of Students on Ice include *Canadian Geographic*, the Canadian Museum of Nature, and Marine Expeditions Inc.

Expedition leader Geoff Green, a veteran of 50 expeditions to Antarctica, is the director of Students on Ice. One of his goals is to have at least one student participating from every province and territory. The expedition will also have a live interactive website, allowing students from around the world to participate vicariously in the journey. Students on Ice is planning to run a similar program to the Arctic in the Summer of 2001. For more information contact: Tel.: (613) 392-2207 E-mail: studentsonice@reach.net Website: www.studentsonice.com

Valèrie Villeneuve, MSc candidate at Laval University, participated in an international research project on the McMurdo Ice Shelf in January – February 2000. She was hosted by New Zealand under the terms of the Canadian Arctic–Antarctic Exchange Program. Her research has been on the microbial ecology of lakes and ice shelf meltwaters in the Canadian High Arctic, and the trip to Antarctica allowed her to make comparative measurements on analogous "cryo-ecosystems" in the south polar region. Her Antarctic research was funded by NSERC (Dr. Warwick Vincent), National Institute of Atmosphere and Water Research (Dr. Ian Hawes), and Antarctica New Zealand.

Yannick Huot, MSc. candidate in oceanography at Dalhousie University, was among 24 students who participated in the Antarctic Marine Biology course at McMurdo station last January run by the National Science Foundation (United States). Students from anywhere in the world can apply for this all-expenses-paid course, and applicants from six countries were selected for the January 2000 course.

Prof. Peter Suedfeld, University of British Columbia, was the Senior Editor for the special Issue on "International Research in Antarctic Psychology" recently published by the journal *Environment and Behavior* (Vol. 32.1, Jan. 2000). The issue contains eight papers, three of them reporting results of studies within three national Antarctic programs, the others with more general aspects of psychological adjustments within isolated groups.

Prof. Louis Legendre, Laval University, was co-convenor of a special session on biological, chemical, physical, and sedimentological interactions in polynyas held during the Conference of the American Society of Limnologists and Oceanographers in Copenhagen, June 5-9, 2000.

Bonni Hrycyk, is stepping down from CCAR this year but will be remaining as Canada's member to COMNAP (Council of Managers of National Antarctic Programs). Her participation in COMNAP is proving to be an excellent opportunity for exchanging expertise in science logistics between Canada and operators in the south polar region.

NEWS IN BRIEF (CONTINUED)

FARO Looking at Links with COMNAP — At the third annual meeting of the Forum of Arctic Research Operators (FARO), held in Cambridge, U.K., during Arctic Science Summit Week in April 2000, a number of ideas were discussed in terms of establishing links with COMNAP.

Among the ideas raised were a system to exchange information between FARO and COMNAP on a regular basis, and the possibility of the chairs of FARO and COMNAP attending each other's annual meetings and reporting on their respective activities.

At its most recent meeting, FARO established two working groups — one, with Dr. Tom Pyle, U.S.A., in the lead, to examine the feasibility of establishing a circum-Arctic environmental monitoring network, and second group, to be chaired by Dr. Mario Zuchelli, Italy, co-ordinating a technology seminar, possibly jointly with COMNAP, to be held during a future Arctic Science Summit Week.

FARO's next meeting will be held during the 2001 Arctic Science Summit Week in Iqaluit, Canada, in the week of 22 April 2001.

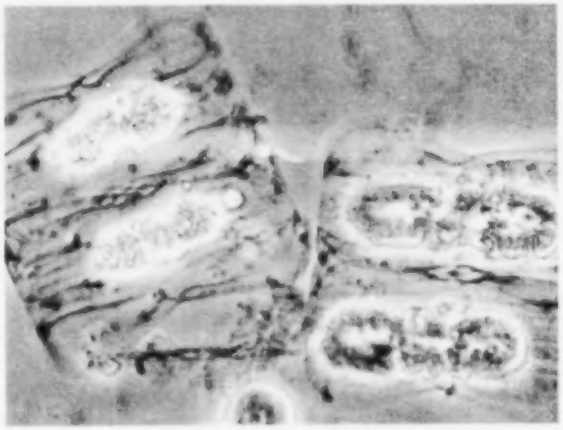
The report on the Calgary Workshop, held to exchange viewpoints regarding the report "Antarctic and Bipolar Science: A Strategic Plan for Canada" is now available. It includes a bibliography of Canadian contributions to Antarctic and bipolar science since mid-1997 as an appendix. Please contact the Canadian Polar Commission to obtain a copy.

Studying Antarctic Diatoms

Michel Poulin

At the invitation of Catherine Riaux-Gobin of Laboratoire Arago in Banyuls-sur-mer, France, Michel Poulin of the Canadian Museum of Nature in Ottawa took part in a scientific mission to Adélie Land. He spent two and a half months at the French base Dumont d'Urville (66° 40'S, 140° 01'E). The invitation was the result of fruitful co-operation that has now been going on for four years between the Museum and Laboratoire Arago.

The purpose of the project was to study the role of high concentrations of sea ice diatoms in the dissociation of the nitrogen and silica cycles in Antarctic coastal zones and their development at break-up. The mission began in early November and ended in December 1999. Daily samples were taken at a fixed station located 0.5 from the base, and the following parameters were measured: ammonium, nitrites, nitrates, phosphates, silicates, light intensity, salinity, temperature, pigments, and cell count. The time study will be based on a near-perfect sequence of 28 days, with interruptions caused by extreme weather conditions. For each visit, the sampling consisted of extracting three sea ice cores and taking from the bottom 10 cm the free ice crystals that rise in the drilling well and the water beneath to a depth of 5 m.



Amphirprora kufferathii

Observation of microalgae *in vivo* with an optical microscope improved our knowledge of the communities both

in the ice and in the waters beneath. The first impression is that the assemblages of micro-algae are dominated by diatoms such as *Nitzschia stellata Manguin, Amphiprora kufferathii Manguin* and *Berkeleya adeliensis Medlin*. An abundance of small chlorophyl cells (coccolithophores, euglena, cryptophycea, choanoflagellates) was also observed, to be identified later. These preliminary optical microscope observations enabled some forty species of microalgae to be recognized, but there is no doubt that a number of other species will be added as analysis proceeds.

Interestingly, the assemblages in Antarctic sea ice are totally different from those observed in the Canadian Arctic. Although in both cases diatoms with a raphe are dominant, the composition of species is very different. Almost the same genera of diatoms are found, but the biological diversity is greater in sea ice in the Canadian North, with three times as many species. It would be most interesting to compare the two types of environment.

Michel Poulin's participation in this Antarctic mission was made possible mainly by the support offered by the Institut Français pour la Recherche et la Technologie Polaires, but also by the Canadian Museum of Nature.

Michel Poulin is a scientist with the Canadian Museum of Nature's Research Division, P.O. Box 3443, Stn. D, Ottawa, Ontario K1P 6P4; Tel.: (613) 566-4788 Fax: (613) 364-4027 E-mail: mpoulin@mus-nature.ca

References

Riaux-Gobin, C., P. Tréguer, M. Poulin et G. Vétion. In press. Nutrients, algal biomass and assemblages in land-fast ice and seawater off Adélie Land, Antarctica. *Antarctic Science.*

Poulin, M. and C. Riaux-Gobin. 1998. Some taxonomic notes on Antarctic diatoms in land-fast ice off Adélie Land. 15th International Diatom Symposium, Curtin University of Technology, Perth, Western Australia. September 28 - October 2.

Riaux-Gobin, C., M. Poulin and R. Prodon. 1998. Fast-ice microalgae and phytoplankton communities: relationships with environmental factors during ice break-up (Adélie Land, Antarctica). 15th International Diatom Symposium, Curtin University of Technology, Perth, Western Australia. September 28 - October 2.

Riaux-Gobin, C., M. Poulin and R. Prodon. 1998. Communautés phytoplanctoniques et épontiques en Terre Adélie: relations avec les facteurs du milieu et gradient côte-large en période de débâcle. 17th Symposium of the Association des diatomistes de langue française, Centre Universitaire, Luxembourg. September 8-11.

Letter from the CPC

The terms of members of the Canadian Committee on Antarctic Research (CCAR) expired March 31, 2000. As one of the Committee's final actions, they prepared a list of nominees for membership on the next CCAR. The list of nominees was reviewed by the Board of Directors of the Canadian Polar Commission at the May 7, 2000 meeting in Quebec City at which time six individuals were approved to lead CCAR into the new millenium. Their appointments will be staggered to ensure continuity on the committee.

On behalf of the Commission, I would like to extend a special thanks to all the members of CCAR for their dedication and hard work in dealing with Antarctic issues. Sincere thanks to Ms. Bonni Hrycyk, Director, Polar Continental Shelf Project, Natural Resources Canada; Dr. Kathleen Conlan, Research Scientist, Canadian Museum of Nature; Dr. Eddy Carmack, Research Scientist, Fisheries and Oceans Canada; and Prof. Peter Suedfeld, Department of Psychology, University of British Columbia. Thanks also to CCAR's special advisers, Prof. Wayne Pollard, Department of Geography, McGill University, and Dr. Fred Roots, Science Advisor Emeritus, Environment Canada, for their support and commitment. I would also like to acknowledge and thank the Chairman of CCAR, Prof. Warwick Vincent, Department of Biology, Laval University, for his dedication and leadership, as well as the Secretary of CCAR, Dr. Olav H. Loken, Consultant, Ottawa, Ontario, for his commitment and hard work.

For the year 2000, CCAR will consist of Prof. Warwick Vincent returning as Chairman, Dr. Kathleen Conlan, Dr. Eddy Carmack, Prof. Peter Suedfeld, Prof. Wayne Pollard, and Dr. Olav H. Loken who will also remain as Secretary. Dr. Fred Roots will also remain as a special adviser.

The Canadian Polar Commission looks forward to working with CCAR in the advancement of scientific knowledge and in the facilitation of Antarctic and bipolar research.

Steven C. Bigras
Executive Director, Canadian Polar Commission

Information Update

Please assist us in updating your information on the CCAR mailing list and the CPC's Directory of Polar Researchers. Fill in the form below and return to:

Alan Saunders
Manager, Communications and Information
Canadian Polar Commission
Suite 1710, Constitution Square
360 Albert Street
Ottawa, Ontario
K1R 7X7

Last name:_____

First name:_____

Title:_____

Institution:_____

Department:_____

Web URL:_____

Street:_____

City:_____

Province/State:_____

Country:_____

Postal code:_____

Telephone:_____

Fax:_____

E-mail:_____

Have you conducted research in Antarctica?

_____

Main field of research:_____

_____

_____

_____

Related fields:_____

_____

Years worked in Antarctica:_____

First year:_____

Will you be returning to Antarctic to conduct research in the near future?

List titles of four recent papers, books, articles, etc. dealing with Antarctic:

Questions/Comments:

CCAR/CCRA Members and Advisers

Prof. Warwick Vincent (Chair)
Université Laval
SAINTE-FOY, QC
Tel.: (418) 656-5644
Fax: (418) 656-2043
E-mail: warwick.vincent@bio.ulaval.ca

Dr. Olav Loken (Secretary)
OTTAWA, ON
Tel. & Fax: (613) 225-4234
E-mail: oloken@sympatico.ca

Dr. Ed Carmack
Department of Fisheries and Oceans
VANCOUVER, BC

Dr. Kathleen Conlan
Canadian Museum of Nature
OTTAWA, ON

Prof. Peter Suedfeld
University of British Columbia
VANCOUVER, BC

Prof. Wayne Pollard
McGill University
MONTREAL, QC

Dr. Fred Roots
(Antarctic Adviser, CPC)
Environment Canada
OTTAWA, ON

CARN Newsletter

CANADIAN POLAR COMMISSION
COMMISSION CANADIENNE DES AFFAIRES POLAIRES

Copyright © 1999 Canadian Polar Commission/Canadian Antarctic Research Network
Editor: Alan Saunders

Production: Nortext Multimedia

Material for this issue of the newsletter was compiled by the Secretary, Canadian Committee for Antarctic Research

Please send editorial correspondence to:
Alan Saunders
Editor, *CARN Newsletter*
Canadian Polar Commission
Suite 1710, 360 Albert Street
Ottawa, ON K1R 7X7
Tel.: (613) 943-8605, Fax: (613) 943-8607
E-mail: saunders@polarcom.gc.ca
www.polarcom.gc.ca/ccarhome.htm

Vol. 10, printemps 2000

BULLETIN POUR LE

Réseau canadien de recherches antarctiques

INTÉRIEUR

Examen du lac Vostok 1

Patinage sur une glace épaisse : un député en Antarctique 3

Lettre du président du CCRA 4

Changements dans la masse de glace et mouvements de la croûte en Antarctique 5

Programme canadien d'échanges Arctique-Antarctique 7

Récentes contributions canadiennes à la science antarctique et bipolaire 7

En bref 8

Études des diatomées antarctiques 9

Lettre de la CCAP 10

Mise à jour 11

Examen du lac Vostok

Eddy Carmack[1] et John Wüest[2]

Jusqu'à tout récemment, le lac Vostok n'avait pas été découvert par l'homme. Il nous fait penser à ces « mondes perdus » qu'on présente dans les films pour enfants. Cette étendue d'eau douce située en Antarctique Est (Fig. 1), qui date de 10 à 20 millions d'années, est recouverte d'une couche de glace de 3,7 à 4,2 km d'épaisseur. Le lac Vostok est grand : sa superficie (~14 000 km²) équivaut à peu près à celle du lac Ladoga, son volume (~1 800 km³), à celui du lac Ontario, et sa profondeur maximum (> 500 m), à celle du lac Tahoe. On n'a pas encore réussi à pénétrer ce lac, mais d'après les données obtenues par télédétection, il serait rempli d'eau douce, et son fond serait couvert d'épais sédiments (Kapitsa et al., 1996). Les nouvelles analyses de la carotte de glace du lac Vostok révèlent que des microbes repérés dans l'eau et les sédiments, qui ont été isolés pendant des millions d'années, sont encore vivants (Vincent, 1999; Priscu et al., 1999; Karl et al., 1999). Grâce à cette combinaison – épaisse couverture de glace et extrême isolation des microbes –, le lac Vostok est un excellent analogue d'exploration planétaire (F. Carsey, pers. comm.). Toutefois, ces conditions extrêmes exigent le recours à des procédés de microrobotique *in situ* spécialement conçus pour examiner une gamme anticipée de paramètres physiques et géochimiques dans ce lac. Pour stimuler le débat sur la circulation de l'eau à prévoir dans le lac Vostok, nous avons appliqué des principes thermodynamiques et hydrodynamiques et posé la question suivante : « Quelle est la vitesse d'écoulement de l'eau? » (voir Wüest et Carmack, 2000).

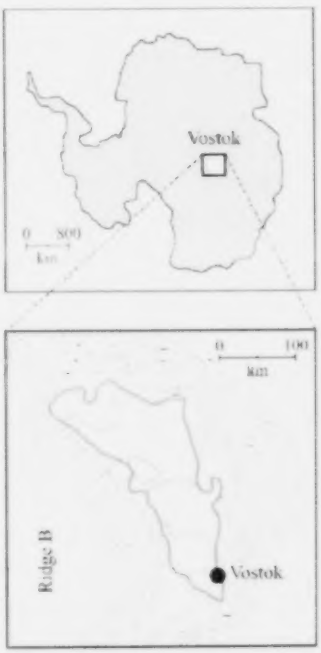


Figure 1 : Emplacement du lac Vostok et carte, adapté de Kapitsa et al., 1996.

Le débit d'eau est vraisemblablement régi par la densité dans le lac Vostok. Il faut donc tenir compte (1) des effets de la pression élevée sur la densité et sur le point de congélation de l'eau douce et (2) du rôle de la chaleur géothermique (peut-être 50 mWm^{-2}). La baisse de la température à densité maximum due à la pression est TDM ~ 4 °C – 0,021p, lorsque la pression est exprimée en bars, alors que la baisse de la température de congélation due à la pression est TPC ~ 0 °C – 0,00759p (Chen et Millero, 1986; Fujino et al., 1975). Ces deux lignes se rejoignent à une pression critique (pcrit), soit environ 305 bars, qui correspond à une épaisseur d'environ 3 350 m (Fig. 2) pour la glace qui recouvre le lac. Au-dessus de pcrit TDM > TPC, et le système est stable quand la température augmente avec la profondeur, comme pour un lac (pensez à un lac recouvert de glace normal - c'est dans le fond que l'eau est la plus chaude). Au-dessous de p~ TDM < TPC, et le système est stable quand la température baisse avec la profondeur, comme pour un océan, c'est-à-dire que l'eau monte lorsqu'elle se réchauffe à partir du bas. Le lac Vostok entre dans la catégorie des « océans ». D'autres lacs sous-glaciaires de l'Antarctique, comme celui qui est au Pôle Sud, entrent dans la catégorie des « lacs ». Un autre point complique davantage le problème : les interfaces eau glacée (plafond) et eau-sédiments (fond) du lac sont en pente.

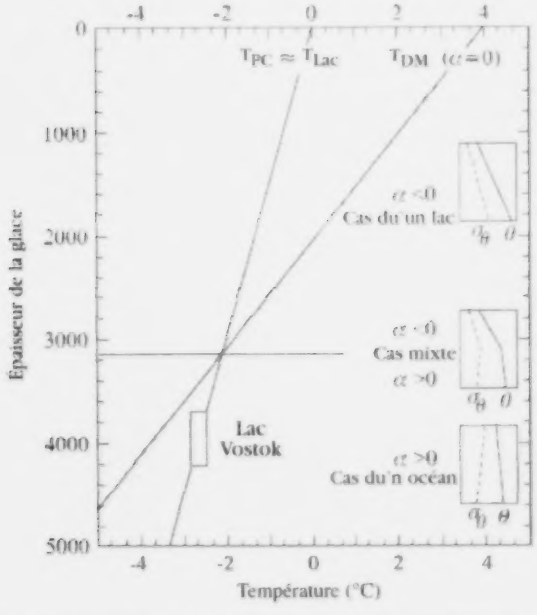


Figure 2 Graphique indiquant la température de congélation (TPC) et la température à la densité maximum (TDM) en fonction de l'épaisseur de la glace. On peut s'attendre à trouver trois types de lacs sous la glace en Antarctique; tout dépend de l'épaisseur de la glace – épaisseur supérieure, moindre ou égale à la profondeur critique (profondeur de ~3 170 m pour _glace_~913 kg m^{-3}), à T_m et T_∞ égales. Dans le lac Vostok, la TPC (~ - 2,7 °C) est plus chaude que la TDM (~ -4°C), donc le coefficient d'expansion thermique α est positif (« cas d'un océan »); la densité potentielle ultérieure $\sigma\theta$ augmente lorsque la température potentielle diminue avec la profondeur.

En nous fondant sur des arguments d'échelle pour le mouvement des fluides, nous prévoyons deux types de mouvements internes : a) des panaches convectifs verticaux avec échelles de vélocité de ~0,3 mm s^{-1} et b) des indices de convection horizontale à peu près semblables. La convection verticale résulte des flux de chaleur géothermique, alors que la circulation horizontale est liée aux flux de chaleur latente (fonte et congélation) le long du plafond de glace incliné. Le mélange vertical est très rapide; l'échelle de temps est en jours. La fonte et le regel associés au flux horizontal devraient aplatir la couverture de glace et ainsi rendre le terrain remarquablement plane, alors que le glacier se déplace sur le lac sur une échelle de ~20 000 années. Nous constatons également que des expériences sur le terrain seraient utiles pour permettre de déterminer si le flux peut être détecté dans des conditions semblables (mais moins extrêmes) de haute pression et de faible température (p. ex., au-dessous de la plateforme de glace Ward Hunt, dans l'Extrême-Arctique canadien; Jeffries, 1992).

Eddy Carmack est chercheur à l'Institut des sciences de la mer MPO, à Sidney (C.-B.). John Wüest est spécialiste en écologie aquatique de l'Institut fédéral suisse pour l'aménagement, l'épuration et la protection des eaux.

Notes complémentaires :

Institut des sciences de la mer, 9860 West Saanich Road, Sidney, (C.-B.) V8L 4B2, Canada
Courriel : Carmack@pac.dfo-mpo.gc.ca

EAWAG et ETH, CH-8600 Dübendorf, Suisse

Références

Chen, C.T. et F.J. Millero 1986 : Precise thermodynamic properties for natural waters covering only the limnological range. *Limnol. Oceanogr.*, 31, 657-662.

Fujino, K., E.L. Lewis et R.G. Perkin, 1974 : The Freezing point of sea water at pressure up to 100 bars. *J. Geophys. Res.*, 79, 1792-1797.

Jeffries, M.O., 1992. Arctic ice shelves and ice islands: Origin, growth and disintegration, physical characteristics, structural-stratigraphic variability, and dynamics. *Rev. Geophys.*, 30, 245-267.

Kapitsa, A.P., J.K. Ridley, G. de Q. Robin, M.J. Siegert et I.A. Sotikov, 1996 : A large deep freshwater lake beneath the ice of central East Antarctica. *Nature*, 381, 684-686.

Karl, D.M. et cinq autres, Microorganisms in the accreted ice of Lake Vostok, Antarctica. *Science*, 286, 2144-2147, 1999.

Priscu, J.C. et onze autres 1999 : Geomicrobiology of subglacial ice above Lake Vostok, Antarctica. *Science*, 286, 2141-2143.

Vincent, W.F.1999 : Icy life on a hidden lake. *Science*, 286, 2094.

Wüest, A. et E.C. Carmack, A priori estimates of mixing and circulation in the hard-to-reach body of Lake Vostok. *Ocean Modelling*, soumis, 2000.

Patinage sur une glace épaisse : un deputé en Antarctique

Peter Adams

En janvier 1999, l'hon. David Anderson, ministre fédéral des Pêches et Océans et maintenant ministre de l'Environnement, a participé à « Ministerial on Ice » sur la base Scott de la Nouvelle-Zélande, dans la région de la mer de Ross, en Antarctique. Il représentait le Canada à une réunion des ministres et responsables de 23 pays.

En janvier 2000, sur l'invitation d'Antarctica New Zealand, j'ai visité cette région avec le chef des forces de défense, le président de la Foundation of Research, Science and Technology et le sous-secrétaire des Affaires étrangères et du Commerce extérieur de la N.-Z. ainsi que des représentants d'Antarctica New Zealand. Mon but : examiner plus à fond l'activité du Canada en Antarctique, notamment en ce qui concerne la coopération avec la Nouvelle-Zélande. J'ai été mis au courant de tous les dossiers avant de partir pour l'Antarctique, et je remercie en particulier le M Warwick Vincent et M. Clive Howard Williams (Nouvelle-Zélande) qui ont facilité la visite.

Partout où je suis allé, j'ai rencontré des Canadiens. Par exemple, Valérie Villeneuve, de l'Université Laval, qui faisait de la recherche à partir de l'île Bratina, sur la plateforme de glace McMurdo, Yannick Huot, de Dalhousie, qui suivait un cours au laboratoire Crary, à McMurdo, Phil Holme, un étudiant diplômé de l'université Victoria, à Wellington, qui faisait des travaux géologiques, et Ian Hogg, maintenant enseignant à Waikato, qui étudiait les vertébrés d'eau douce. J'ai aussi rencontré des pilotes de Twin Otter de First Air, à Yellowknife, qui rentraient chez eux après avoir terminé leur contrat. Divers chercheurs non canadiens m'ont parlé de leurs collègues canadiens qui avaient travaillé dans l'Antarctique ou qui devaient bientôt arriver dans la région.

Le nombre de personnes recensées durant une courte visite dans un secteur de l'Antarctique laisse supposer que l'activité canadienne sur le continent est très considérable.

Pourtant, comme le savent les lecteurs de ce bulletin, le Canada n'est pas un membre adhérent à part entière au régime des traités sur l'Antarctique. Nous participons à une variété d'activités prévues au Traité, mais en tant que membres de seconde classe. Pour être membre à part entière, le Canada doit entre autres soutenir une expédition ou une base, ou mener une activité équivalente, en Antarctique.

On parle beaucoup de l'intervention limitée du Canada en Antarctique dans les conversations internationales. Apparemment, notre pays serait le seul à réaliser des bénéfices dans la région, parce que nos pilotes, nos avions et nos ingénieurs sont fort en demande sur le continent et dans les environs, du fait de leur expertise propre aux milieux froids. Nos motoneiges, parkas, mukluks, bottes, huttes, tentes et nos techniques de télédétection sont très populaires ici. Les deux plus grandes entreprises de voyages touristiques en Antarctique sont établies au Canada. Donc, nous profitons de l'activité commerciale en Antarctique.

Parallèlement, nos chercheurs et nos étudiants disséminés un peu partout dans le continent, comme ceux que j'ai rencontrés, sont tous engagés dans des travaux réalisés par d'autres nations. Ils sont réputés pour leur talent en rapport avec les régions froides et leur expertise scientifique. C'est là une façon économique de faire de la recherche dans cette région éloignée.

J'estime admirable le fait que nos gens peuvent travailler aussi efficacement avec les 27 pays signataires du Traité sur l'Antarctique. Nous devrions poursuivre notre action. Je pense que, malgré notre rôle secondaire, notre contribution à la science en Antarctique est sans doute aussi importante que celle de plusieurs pays signataires mineurs. Cependant, j'estime aussi que notre pays doit maintenant devenir adhérent à part entière au Traité. Nous avons un devoir moral à cet égard, et ce serait un moyen logique de renforcer la science au Canada. Dans mon rapport, j'affirme que nous devrions maintenant devenir adhérents à part entière en prenant quelques mesures simples, par exemple en collaborant d'une manière plus formelle avec la Nouvelle-Zélande. Les intéressés peuvent obtenir des exemplaires du rapport sur demande. Voici mes principales recommandations :

- Que l'actuel Programme canadien d'échanges Arctique-Antarctique soit renforcé.
- Que le Canada conclue une entente formelle de coopération avec la Nouvelle-Zélande pour les dossiers polaires.
- Que le Canada ratifie le Protocole au Traité sur l'Antarctique relatif à la protection de l'environnement, en adoptant la loi nationale pertinente.
- Que le Canada devienne partie consultative au Traité sur l'Antarctique.

Peter Adams est le député de Peterborough (Adamas@parl.gc.ca) et ancien chercheur scientifique de l'Université Trent.

Lettre du président du CCRA

Warwick Vincent

Cette année marque le début du deuxième mandat du Comité canadien de la recherche antarctique (CCRA), le comité national du Canada chargé de l'Antarctique, qui relève du Comité scientifique pour les recherches antarctiques (CSRA). Il faut donc maintenant dresser la liste de ce que le CCRA a accompli au cours de son premier mandat de deux ans et établir les priorités pour l'avenir immédiat.

Le CCRA a été créé au moment où le Canada soumettait sa demande pour devenir membre à part entière du CSRA, demande qui a été acceptée. Une grande partie du travail du Comité a donc été axée sur les exigences imposées aux membres, comme par exemple la nomination de représentants canadiens au sein des groupes de travail du CSRA, la liaison et l'obligation de répondre à diverses demandes de renseignements et de faire rapport. En outre, le CCRA s'est vu conférer des responsabilités en rapport avec le Programme canadien d'échanges Arctique-Antarctique qu'il administre conjointement avec les responsables de l'Étude du plateau continental polaire (EPCP). Les nouveaux membres du conseil de la Commission canadienne des affaires polaires (CCAP) ont été nommés au cours de la deuxième année d'existence du CCRA. Le CCRA a fait de nombreuses interventions pour renseigner les nouveaux membres de la CCAP à propos de l'importance de la recherche antarctique et bipolaire pour le Canada. Durant la première période de deux ans, nos activités étaient régies par un mandat provisoire. Notre mandat définitif a maintenant été établi en consultation avec la CCAP.

Le CCRA a utilisé divers moyens pour sensibiliser les gens aux questions antarctiques. La plupart des membres et des conseillers du CCRA ont accordé des entrevues aux médias sur une myriade de dossiers propres à l'Antarctique et aux affaires bipolaires, depuis le changement de climat mondial jusqu'au RADARSAT et à la vie au fond de la mer de Ross. La production de ce bulletin demeure une partie importante de notre mandat en matière de sensibilisation et d'éducation, mais nous travaillons aussi à des questions connexes. Exemple : le CCRA a organisé la visite de hauts-fonctionnaires canadiens dans le secteur de la mer de Ross, en Antarctique, par l'entremise du programme antarctique de la Nouvelle-Zélande. Le ministre David Anderson et John Davis (sous-ministre adjoint, Pêches et Océans Canada) ont accepté l'invitation en 1999, et le député Peter Adams a été accueilli par Antarctica New Zealand en janvier 2000 (voir son article dans ce numéro).

La plus importante contribution du CCRA à ce jour a été l'établissement d'un plan stratégique pour la science antarctique et bipolaire au Canada. Notre document de consultation a été diffusé en 1999, et il a suscité d'excellentes réactions dans de nombreux milieux, notamment les ministères des gouvernements, l'arène politique, les universités et l'entreprise privée. Le CCRA a tenu un atelier sur ce thème à Calgary, en octobre 1999, et un compte rendu bilingue des débats a été publié par la Commission canadienne des affaires polaires. Ce compte rendu énumère plus de 75 ouvrages scientifiques publiés depuis le milieu de 1997 qui comportent un volet canadien sur les questions bipolaires ou antarctiques - un rappel opportun du fait que nous avons au Canada une base considérable d'expertise à exploiter.

Pour la prochaine étape, nous comptons intégrer les suggestions et commencer à appliquer les recommandations du plan et de l'atelier. Une idée qui a suscité l'enthousiasme à l'atelier : créer une fondation canadienne pour la recherche antarctique et bipolaire qui tenterait d'obtenir des appuis privés et publics (voyages, etc.) pour les scientifiques canadiens, y compris les étudiants, qui aimeraient faire de la recherche ou entreprendre des études bipolaires en Antarctique. Cet organisme ne serait pas rattaché au CCRA ou à la CCAP, et la planification de sa mise sur pied a commencé. Un comité directeur chargé de la fondation a été formé. Ses membres sont Olav Loken (CCRA), Wayne Pollard (Université McGill), Pat Shaw (Marine Expeditions) et moi-même (Université Laval).

Une autre nouvelle importante pour les scientifiques des hautes latitudes canadiens : le CCRA compte réaliser, avec une entreprise de l'Ontario, un formidable projet éducatif axé sur les questions antarctiques et bipolaires, appelé « Students on Ice ». (Voir « En bref » dans ce numéro du bulletin pour les détails.) Durant l'année à venir, vous entendrez parler davantage de ce projet, de la fondation et des autres nouvelles activités du CCRA.

Warwick Vincent est le président du Comité canadien de la recherche antarctique (CCRA).

Changements dans la masse de glace et mouvements de la croûte en Antarctique

Thomas James

À la dernière époque glaciaire, l'inlandsis laurentidien a entraîné une dépression de la croûte terrestre dans le Nord canadien, et lorsque la glace a disparu, la croûte a repris sa forme antérieure. Ce processus de relèvement n'est pas instantané; il s'étend sur des milliers d'années. La terre au port de Churchill, sur la baie d'Hudson, par exemple, remonte encore, à un rythme d'environ 1 cm par année. Grâce aux études des caractéristiques marginales de la glace et des plages surélevées au moyen de la datation au radiocarbone, il a été possible de dresser un tableau détaillé du relèvement. J'utilise des estimations de l'avance et du retrait de la nappe de glace pour établir des modèles informatiques ou pour faire des simulations indiquant comment la croûte terrestre a réagi aux changements de la charge en surface, afin d'expliquer le relèvement observé.

L'Antarctique présente des difficultés particulières lorsqu'on essaie de déterminer son bilan massique aux époques passées, parce que ce continent est encore en grande partie recouvert de glace, et le nombre de caractéristiques marginales de la glace et de plages surélevées permettant de retracer l'histoire de la nappe et d'établir les processus de relèvement est relativement faible. Il faut trouver d'autres méthodes, et je me suis attaché à créer des modèles reconstituant l'histoire de la nappe glaciaire et des mouvements de la croûte terrestre en me basant sur des travaux semblables réalisés au Canada, et à intégrer l'état actuel de nos connaissances sur l'histoire de la nappe de l'Antarctique. La figure 1 montre les taux de relèvement de l'Antarctique prédits par un certain modèle de l'évolution de la masse glaciaire en Antarctique. Les plus hauts taux, qui approcheraient les 15 mm par année, devraient être enregistrés à la base de la péninsule antarctique. On a observé des taux de relèvement moindres mais quand même importants dans une vaste région, qui s'étend des monts transantarctiques (TAM) sur toute la plateforme de glace Ross, jusqu'à la Terre Marie Byrd. D'autres phénomènes plausibles du passé permettent de produire différents modèles de relèvement.

Grâce à la technologie des satellites moderne, il est possible de vérifier des parties du modèle en mesurant le taux actuel de mouvement de la croûte. La méthode repose sur des observations précises des mouvements verticaux et horizontaux de la croûte faites à l'aide du système de positionnement global (GPS). Au début des années 90, la recherche à cet égard a bénéficié d'une subvention du programme de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) sur le changement climatique mondial, et les travaux ont été menés avec l'étroite collaboration d'Erik Ivins du Jet Propulsion Laboratory (JPL) de la NASA. Actuellement, les quelque 20 sites GPS permanents exploités par divers pays sont assez également répartis le long de la côte. Le plus ancien de ces sites, c'est-à-dire la station McMurdo, est en

Photo. Installation d'un système GPS à Mt. Coates, dans les vallées sèches. Photographie de C. Raymond, JPL/NASA.

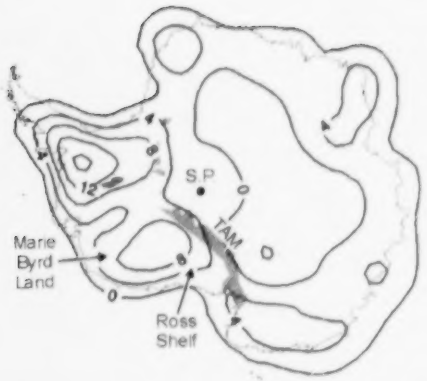


Figure 1. Taux de relèvement prédits pour la période actuelle, en millimètres par année, pour le modèle de déglaciation D91 [James et Ivins, 1998].

service depuis plusieurs années. On y a mesuré les taux de déplacement vertical avec une précision supérieure à 1 mm par année.

Dans l'intérieur de l'Antarctique Ouest cependant, où l'on s'attend à trouver les plus hauts taux et où ont été enregistrées les plus grandes différences entre les divers faits relatifs à l'évolution de la masse glaciaire antarctique, très peu d'observations ont été faites jusqu'ici. Toutefois, des progrès ont été accomplis dans la mise au point de stations GPS semi-autonomes à installer à des endroits où il n'y aura pas de personnel (voir la photo). Une équipe de JPL dirigée par Carol Raymond a aménagé, près de McMurdo, deux stations qui sont en service depuis plusieurs années et recueilli des données pendant des périodes d'observation allant de 40 à 100 jours par année durant l'été et l'automne, en Antarctique (http://geodynamics.jpl.nasa.gov/antarctica/tam.html). La qualité des données est semblable à celle des données obtenues des sites d'observation continue, mais comme l'observation est une activité saisonnière, il faudra plus de temps pour obtenir une précision des taux de relèvement comparable. On espère qu'un jour il y aura tout le long des TAM des stations qui fonctionneront pendant presque toute l'année. D'autres groupes, qui ont utilisé ce système ou des instruments semblables, ont aménagé un nombre limité d'autres sites.

Le GPS n'est pas la seule technique qui fournit de l'information sur la déformation actuelle de la croûte. Les observations répétées des changements de gravité, sur terre ou à bord des satellites, sont sensibles aux changements actuels de la masse glaciaire et à la redistribution de la masse interne qui entrainent le soulèvement de la croûte. Vu les divers degrés de sensibilité des différentes techniques aux changements de la masse glaciaire et aux réactions de la croûte terrestre, il importe d'intégrer les observations du plus grand nombre de techniques possible. Ainsi, nous pourrions obtenir un tableau plus détaillé des faits du passé qui ont influé sur la plateforme de glace en Antarctique et faire de meilleures prédictions sur son futur comportement et ses effets éventuels sur les changements du niveau des mers dans le monde.

En 1998, le Comité scientifique pour les recherches antarctiques (CSRA) a formé un groupe de spécialistes de la néotectonique antarctique (ANTEC) pour orienter les futures études du régime néotectonique antarctique, y compris la séismicité, l'activité volcanologique, la déformation de la croûte due aux processus observés aux frontières de plaques et le relèvement postglaciaire. Le groupe a tenu une réunion durant la conférence de la European Geophysical Society (société européenne de géophysique) qui a eu lieu à la fin d'avril 2000, pour examiner l'état actuel de la recherche néotectonique en Antarctique et commencer à dresser un plan scientifique indiquant les principales priorités de la recherche.

Ces études en sont à leurs premiers balbutiements, mais elles peuvent contribuer grandement à élucider des détails à propos du bilan massique de la plateforme de glace de l'Antarctique. Ce travail est important pour la compréhension du rôle des plateformes de glace dans le système climatique et la limitation des changements dans les plateformes, et pour permettre de savoir comment ces changements ont influé sur le niveau des mers au cours des derniers milliers d'années. Une meilleure connaissance du passé nous aidera aussi à prédire les futurs changements.

Références

James, T. S. et E. R. Ivins, Predictions of Antarctic crustal motions driven by present-day ice sheet evolution and by isostatic memory of the Last Glacial Maximum, *J. Geophys. Res.*, 103, 4993-5017, 1998.

Site Web : http://www.pgc.nrcan.gc.ca/geodyn/ant_ice.htm

Tom James est chercheur scientifique à la Commission géologique du Canada, Ressources naturelles Canada. Courriel : tjames@nrcan.gc.ca.

Programme canadien d'échanges Arctique-Antarctique

Bonni Hrycyk

Durant la courte période écoulée depuis la mise sur pied du Programme canadien d'échanges Arctique-Antarctique, les avantages pour les chercheurs scientifiques canadiens qui ont participé au programme ont été remarquables.

Les propositions soumises dans le cadre du programme conçu pour encourager les échanges entre les chercheurs de l'Arctique et ceux de l'Antarctique, sont examinées par le Comité canadien de la recherche antarctique et le Comité d'évaluation scientifique de l'Étude du plateau continental polaire. L'EPCP assure le soutien logistique des projets réalisés chaque année par des collaborateurs de l'Antarctique qui travaillent avec leurs collègues de l'Arctique.

Par l'entremise du programme, les scientifiques de plusieurs universités canadiennes - McGill, Laval, Saskatchewan, Ottawa, Toronto - et les chercheurs du gouvernement ont invité des collègues des É.-U., du R.-U., du Japon, de l'Italie et de la Nouvelle-Zélande qui s'intéressent à l'Antarctique à venir travailler avec eux dans l'Arctique. D'un autre côté, des chercheurs scientifiques et des étudiants du Canada ont été accueillis par leur collègues en Antarctique.

En 1998, M. Don McEwen (université de la Saskatchewan) a indiqué que sa collaboration avec des scientifiques de l'Antarctique augmentait la valeur de son travail de recherche sur l'Arctique grâce à l'interaction avec d'importants scientifiques en rapport avec le programme atmosphérique de l'Antarctique, et lui donnait accès à toutes les données complémentaires sur l'Antarctique. Ainsi, il a pu participer à la rédaction de publications conjointes.

M. Warwick Vincent (Laval) a déclaré qu'en plus de permettre aux chercheurs canadiens et à leurs élèves d'aller en Antarctique, ces échanges apportent d'autres avantages. D'après lui, l'intervention d'un scientifique, Clive Howard-Williams, du programme antarctique de la Nouvelle-Zélande, par exemple, a été extrêmement utile du fait des connaissances transmises aux étudiants et aux autres chercheurs qui ont participé à un programme sur le terrain organisé par l'université Laval dernièrement.

Wayne Pollard (McGill), qui a invité des collègues américains à venir travailler avec lui dans l'Arctique et avec des étudiants diplômés, a ensuite travaillé au site aménagé par les É.-U. pour la recherche écologique à long terme sur les vallées sèches, à McMurdo. Il a indiqué qu'il avait acquis une meilleure connaissance des systèmes utilisés dans l'Arctique, grâce à ses travaux dans la région polaire du Sud. D'après ses déclarations, l'échange lui a permis de nouer des liens professionnels qui lui seront utiles à long terme. En tant qu'enseignant, chercheur et membre de la communauté scientifique nordique du Canada, il a affirmé que les échanges apportaient des avantages à de nombreux niveaux.

Hugh French (Ottawa), qui a travaillé avec des collègues italiens aux comparaisons bipolaires du pergélisol à de hautes latitudes, espère que d'autres enseignants de son université participeront à des échanges scientifiques à l'avenir. D'après lui, les collaborations favorisées par le programme d'échanges prouvent l'engagement du Canada envers le CSRA.

Bonni Hrycyk est la directrice de l'Étude du plateau continental polaire. Courriel : bhrycyk@nrcan.gc.ca.

Récentes contributions canadiennes à la science antarctique et bipolaire

(Les noms des co-auteurs canadiens sont soulignés, sauf si tous les co-auteurs sont des Canadiens.)

de Mora, S., S. Demers et M. Vernet, 2000 : *The Effects of UV Radiation in the marine environment*. Cambridge University Press. 320 p.

Joughin, I., L. Gray, R Bindschadler, S. Price, D. Morse, C. Hulbe, K. Mattar et C. Werner. 1999 : Tributaries of West Antarctic Ice Streams Revealed by RADARSAT Interferometry. *Science* 286: 283-286.

Karl, D.M., D.F. Bird, K. Björkman, T. Houlihan, R. Shackelford, et L. Tupas. 1999 : Micro-organisms in the accreted ice of Lake Vostok, Antarctica. *Science* 286: 2144-2147

Vincent, W.F. 2000 : Cyanobacterial dominance in the polar regions. Dans : Whitton, B. et M. Potts : *Ecology of the Cyanobacteria: their Diversity in Space and Time*. Kluwers Academic Press, Pays-Bas, p. 321-340.

Vincent, W. et C. Howard-Williams, 2000 : Life on snowball Earth. *Science* 287: 2421.

EN BREF

Réunion des parties consultatives au Traité sur l'Antarctique (ATCM) - la XXIV[e] ATCM devait avoir lieu en Pologne en 2000, mais en juin dernier la Pologne a annoncé que cela ne serait pas possible pour des raisons d'ordre économique. Dernièrement, les Pays-Bas ont offert de tenir une réunion consultative spéciale à La Haye du 11 au 15 septembre 2000, pour examiner le rapport du Comité chargé de la protection de l'environnement, dont les membres se réuniront à cette occasion. Des discussions non officielles sur d'autres questions sont également prévues.

L'expédition « STUDENTS ON ICE » en Antarctique, qui aura lieu du 27 décembre 2000 au 8 janvier 2001, donnera à 100 élèves des écoles secondaires des diverses régions du Canada une occasion historique de vivre une expérience et d'explorer les mystères et merveilles de l'Antarctique. Le Comité canadien de la recherche antarctique aide à préparer le programme éducatif de l'expédition. Les autres partenaires de Students on Ice sont Canadian Geographic, le Musée canadien de la nature et Marine Expeditions inc.

Le chef de l'expédition, Geoff Green, qui a fait 50 expéditions en Antarctique, est le directeur de Students on Ice. Il aimerait, entre autres, qu'au moins un étudiant de chaque province et chaque territoire participe à cette expédition. Un site web interactif permettra aux étudiants du monde entier de participer au voyage. Students on Ice compte appliquer un programme semblable en Arctique durant l'été 2001. Pour de plus amples renseignements : tél. : 613-392-2207 courriel : studentsonice@reach.net Site web : www.studentsonice.com

Valérie Villeneuve, qui prépare une maîtrise en sciences à l'Université Laval, a participé à un projet de recherche international sur la plateforme de glace de McMurdo, en janvier-février. 2000. Elle a été accueillie par la Nouvelle-Zélande aux termes du Programme canadien d'échanges Arctique-Antarctique. Sa recherche de maîtrise porte sur la microbiologie des lacs et l'eau de fonte provenant des plateformes de glace de l'Extrême-Arctique canadien, et le voyage en Antarctique lui a permis de faire des mesures comparatives à partir de « cryo-écosystèmes » analogues, dans la région polaire du Sud. Sa recherche antarctique a été financée par le CRSNG (Warwick Vincent), le National Institute of Atmosphere and Water Research (Ian Hawes) et Antarctica New Zealand.

Yannick Huot, qui prépare une maîtrise en océanographie à l'université Dalhousie, figure parmi les 24 étudiants qui ont suivi le cours de biologie marine antarctique donné par la National Science Foundation (É.-U.) à la station McMurdo, en janvier dernier. Les étudiants des quatre coins du monde peuvent faire une demande pour suivre ce cours (toutes dépenses payées). Des candidats de six pays ont été choisis pour le cours donné en janvier 2000. Félicitations, Yannick, pour avoir réussi à ce concours où la concurrence était vive.

Le prof Peter Suedfeld, de l'université de la Colombie-Britannique, était le rédacteur en chef du numéro spécial de la revue ***Environment and Behavior*** (vol. 32.1, janv. 2000) intitulé « International Research in Antarctic Psychology » qui a été publié dernièrement. Ce numéro contient huit articles, dont trois qui font part des résultats d'études menées dans le cadre de trois programmes antarctiques nationaux, et d'autres qui traitent des aspects plus généraux des adaptations psychologiques au sein de groupes isolés.

Le prof Louis Legendre, de l'Université Laval, est coresponsable de la session spéciale sur les interactions biologiques, chimiques, physiques et sédimentologiques dans les polynies qui a eu lieu durant la conférence de l'American Society of Limnologists and Oceanographers, à Copenhague, du 5 au 9 juin 2000.

Bonni Hrycyk n'est plus membre du CCRA, mais elle demeurera membre canadien du COMNAP (Conseil des directeurs des programmes nationaux relatifs à l'Antarctique). Sa participation aux activités du COMNAP est une excellente occasion pour l'échange de compétences entre les gens du Canada et ceux qui travaillent dans la région polaire du Sud.

Le FARO désire établir des liens avec le COMNAP. À la troisième assemblée annuelle du Forum of Arctic Research Operators (FARO), qui a eu lieu à Cambridge, au R.-U., durant la semaine du Sommet de la science

EN BREF

arctique, en avril 2000, un certain nombre d'idées ont été débattues pour ce qui est de la création de liens avec le COMNAP.

Les participants ont parlé d'un système d'échanges réguliers de renseignements entre le FARO et le COMNAP et de la possibilité que les présidents du FARO et du COMNAP assistent aux assemblée annuelles de l'un et de l'autre organisme et fassent rapport sur leurs activités respectives.

À sa dernière réunion, le FARO a constitué des groupes de travail - un dirigé par Tom Pyle, des É.-U., qui a été chargé d'examiner la possibilité de former un réseau de surveillance de l'environnement circumarctique. Un deuxième groupe de travail, présidé par Mario Zuchelli, de l'Italie, coordonnera un séminaire sur la technologie qui pourrait être organisé conjointement avec le COMNAP, et qui aurait lieu dans le cadre d'un futur Sommet de la science arctique.

Le FARO tiendra sa prochaine réunion durant la semaine du Sommet de la science arctique 2001 à Iqaluit, au Canada, soit à compter du 22 avril 2001.

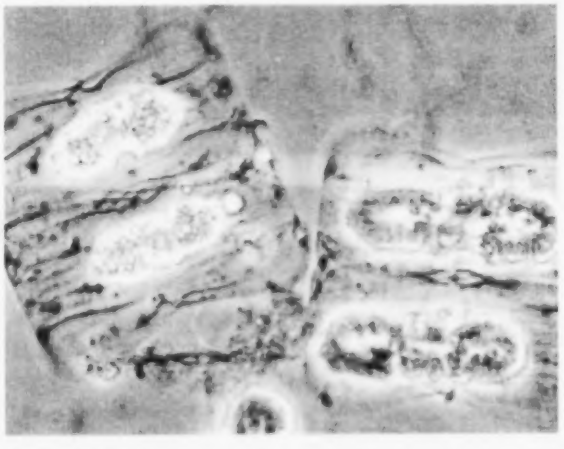
Le compte rendu de l'atelier de Calgary organisé pour susciter un échange d'opinions sur le rapport intitulé « Science antarctique et bipolaire : Plan stratégique pour le Canada » est maintenant disponible. Le compte rendu inclut une annexe qui présente une bibliographie des contributions canadiennes à la science antarctique et bipolaire depuis le milieu de 1997. Les intéressés doivent s'adresser à la Commission canadienne des affaires polaires pour en obtenir un exemplaire.

Études des diatomées antarctiques

Michel Poulin

À l'invitation de Catherine Riaux-Gobin du Laboratoire Arago, Banyuls/mer, France, Michel Poulin du Musée canadien de la nature, Ottawa, a participé à une mission scientifique à Terre Adélie. Il a séjourné deux mois et demi à la base française Dumont d'Urville (66° 40'S, 140° 01'E). Cette invitation a été le résultat d'une fructueuse collaboration entre le Musée et le Laboratoire Arago, collaboration entreprise il y a quatre ans.

Le but du projet a été d'étudier le rôle des fortes concentrations de diatomées des glaces de mer dans la dissociation des cycles de l'azote et de la silice en zone côtière antarctique et leur évolution au moment de la débâcle. La mission a débuté au tout début du mois de novembre pour se terminer en décembre 1999. Des échantillons ont été prélevés chaque jour à une station fixe située à 0,5 km de la base et les paramètres suivants ont été mesurés : ammonium, nitrites, nitrates, phosphates, silicates, intensité lumineuse, salinité, température, pigments, dénombrements cellulaires. L'étude temporelle va reposer sur une séquence presque parfaite de 28 jours avec des interruptions causées par de très mauvaises conditions météorologiques. À chaque sortie, l'échantillonnage a consisté à extraire trois carottes de glace de mer et à en prélever les 10 cm inférieurs, les



Amphirprora kufferathii

cristaux de glace non consolidés qui remontent dans le puits de forage et l'eau sous-jacente à une profondeur de 5 m.

L'observation des micro-algues *in vivo* au microscope optique a permis d'améliorer notre connaissance des communautés tant de la glace que des eaux sous-jacentes. À prime abord, les assemblages de micro-algues sont dominés par des diatomées telles *Nitzschia stellata Manguin*, *Amphiprora kufferathii Manguin* et *Berkeleya adeliensis Medlin*. Une certaine

abondance de petites cellules chlorophyliennes (coccolithophores, euglènes, cryptophycées, choanoflagellés) a aussi été observée, et ces cellules seront identifieés plus tard. Ces observations préliminaires en microscopie optique ont permis la reconnaissance d'une quarantaine d'espèces d'algues microscopiques, mais il est certain que plusieurs autres espèces vont s'ajouter en cours d'analyse.

Il est intéressant de noter que les assemblages des glaces de mer antarctiques diffèrent totalement de ceux observés dans l'Arctique canadien. Même si, dans les deux cas, des diatomées à raphé dominent les assemblages, la composition en espèces est fort différente. On y retrouve à peu près les mêmes genres de diatomées, mais la diversité biologique est plus forte dans les glaces de mer du Nord canadien, avec trois fois plus d'espèces. Il serait très intéressant de pouvoir comparer les deux types de milieu.

La participation de Michel Poulin à cette mission antarctique a été rendue possible grâce à l'aide que lui ont été accordée l'Institut Français pour la Recherche et la Technologie Polaires et le Musée canadien de la nature.

Michel Poulin est un scientifique au Musée canadien de la Nature (B. P. 3443, Stn D, Ottawa (Ontario) K1P 6P4; Tél. : (613) 566-4788 Télec. : (613) 364-4027 Courriel : mpoulin@mus-nature.ca

Réalisations:

Riaux-Gobin, C., P. Tréguer, M. Poulin et G. Vetion. Sous presse. Nutrients, algal biomass and assemblages in land-fast ice and seawater off Adélie Land (Antarctica). *Antarctic Science*.

Poulin, M. et C. Riaux-Gobin. 1998. Some taxonomic notes on antarctic diatoms in land-fast ice off Adélie Land. 15th International Diatom Symposium, Curtin University of Technology, Perth, Western Australia. 28 septembre - 2 octobre.

Riaux-Gobin, C., M. Poulin et R. Prodon. 1998. Fast-ice microalgae and phytoplankton communities: relationships with environmental factors during ice break up (Adélie Land, Antarctica). 15th International Diatom Symposium, Curtin University of Technology, Perth, Western Australia. 28 septembre - 2 octobre.

Riaux-Gobin, C., M. Poulin et R. Prodon. 1998. Communautés phytoplanctoniques et épontiques en Terre Adélie: relations avec les facteurs du milieu et gradient côte-large en période de débâcle. 17è

Colloque de l'Association des diatomistes de langue française, Centre Universitaire, Luxembourg, 8-11 septembre.

Lettre de la CCAP

Steven Bigras

Les mandats des membres du Comité canadien de la recherche antarctique (CCRA) ont expiré le 31 mars 2000. L'une des dernières activités de ces membres a été la préparation d'une liste de personnes susceptibles d'être nommées membres du prochain CCRA. La liste a été examinée par le conseil d'administration de la Commission canadienne des affaires polaires à sa réunion du 7 mai, à Québec. À cette occasion, la Commission a approuvé la nomination de six personnes on été chargées de diriger le CCRA dans le nouveau millénaire. Les nominations seront échelonnées afin d'assurer la continuité au sein du Comité.

Au nom de la Commission, j'aimerais remercier particulièrement tous les membres du CCRA pour leur dévouement et leur enthousiasme à l'égard des dossiers antarctiques. Sincères remerciements à : Madame Bonni Hrycyk, directrice de l'Étude du plateau continental polaire, Ressources naturelles Canada; Kathleen Conlan, chercheure scientifique, Musée canadien de la nature; Eddy Carmack, chercheur scientifique, Pêches et Océans Canada; et au pr Peter Suedfeld, du département de psychologie de l'université de la Colombie-Britannique. Je remercie également les conseillers spéciaux du CCRA, le pr Wayne Pollard, Département de géographie, Université McGill, et Fred Roots, conseiller scientifique émérite, Environnement Canada, pour leur appui et leur dévouement. J'aimerais aussi remercier le président du CCRA, le pr Warwick Vincent, Département de biologie, Université Laval, pour son dévouement et son leadership, ainsi que le secrétaire du CCRA, Olav H. Loken, consultant, Ottawa, Ontario, pour son dévouement et son ardeur au travail.

Pour l'année 2000, les membres du CCRA seront le pr Warwick Vincent qui demeurera à son poste de président, Kathleen Conlan, Eddy Carmack, le pr Peter Suedfeld, le pr Wayne Pollard et Olav H. Loken qui, continuera d'occuper son poste de secrétaire. Fred Roots demeurera lui aussi à son poste de conseiller spécial.

La Commission canadienne des affaires polaires espère vivement collaborer avec le CCRA à l'avancement du savoir scientifique et à l'encouragement de la recherche antarctique et bipolaire.

Steven C. Bigras est directeur exécutif de la Commission canadienne des affaires polaires.

Mise à jour

S'il-vous-plaît, veuillez nous aider à mettre à jour les renseignements de la liste de distribution du CCRA et du répertoire des chercheurs de la CCAP. Complétes le formulaire ci-dessous et retournez-nous le :

Alan Saunders
Gestionnaire, Communications et information
Commission canadienne des affaires polaires
Pièce 1710, Constitution Square
360, rue Albert
Ottawa (Ontario)
K1R 7X7

Nom : _____

Prénom : _____

Titre : _____

Institution : _____

Service : _____

URL sur le web : _____

Rue : _____

Ville : _____

Province/État : _____

Pays : _____

Code postal : _____

Téléphone : _____

Télécopieur : _____

Courriel : _____

Avez-vous fait de la recherche en Antarctique?

_____

Champ d'activité principal : _____

_____

_____

_____

Champs d'activité connexes : _____

_____

Nombre d'années en Antarctique : _____

Première année : _____

Comptez-vous retourner en Antarctique d'ici peu?

Questions/commentaires :

Indiquez les titres de quatre mémoires, livres, articles, etc. sur l'Antarctique publiés récemment :

Membres et conseillers du CCAR/CCRA

Prof. Warwick Vincent (président)
Université Laval
SAINTE-FOY, QC
Tél. : (418) 656-5644
Téléc. : (418) 656-2043
Courriel : warwick.vincent@bio.ulaval.ca

Olav Loken (secrétaire)
OTTAWA, ON
Tél. et téléc. : (613) 225-4234
Courriel : oloken@sympatico.ca

Ed Carmack
Pêches et Océans Canada
VANCOUVER, BC

Kathleen Conlan
Musée canadien de la nature
OTTAWA, ON

Prof. Peter Suedfeld
Université de la Colombie-Britannique
VANCOUVER, BC

Prof. Wayne Pollard
Université McGill
MONTRÉAL, QC

Fred Roots
(Conseiller pour l'Antarctique, CCAP)
Environnement Canada
OTTAWA, ON

Bulletin du Réseau canadien de recherches antarctiques

CANADIAN POLAR COMMISSION
COMMISSION CANADIENNE DES AFFAIRES POLAIRES

Tous droits réservés © 1999 Commission canadienne des affaires polaires/Réseau canadien de recherches antarctiques
Chef de la rédaction : Alan Saunders

Production : Nortext Multimedia, Ottawa

Les textes pour ce numéro du bulletin ont été compilés par le secrétaire du Comité canadien de la recherche antarctique

Lettres à la rédaction :
Alan Saunders
Chef de la rédaction, Bulletin du CCRA
Commission canadienne des affaires polaires
Suite 1710 - 360, rue Albert
Ottawa ON K1R 7X7
Tél. : (613) 943-8605, Téléc. : (613) 943-8607
Courriel : saunders@polarcom.gc.ca
www.polarcom.gc.ca/ccarhome.htm